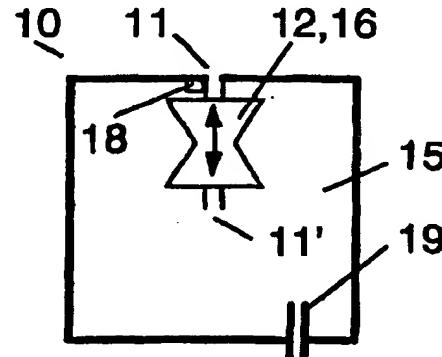




(51) Internationale Patentklassifikation ⁷ : H04R		A2	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/47012 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 10. August 2000 (10.08.00)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE00/00252 (22) Internationales Anmeldedatum: 28. Januar 2000 (28.01.00)		(81) Bestimmungsstaaten: AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZW, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).	
(30) Prioritätsdaten: 199 04 106.7 2. Februar 1999 (02.02.99) DE (71)(72) Anmelder und Erfinder: BSCHORR, Oskar [DE/DE]; Keplerstrasse 11, D-81679 München (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): RAIDA, Hans-Jochen [DE/DE]; Auf dem Heidenfeld 20, D-50735 Köln (DE).		Veröffentlicht <i>Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.</i>	
(54) Title: SOUND GENERATOR WITH A PUMP ACTUATOR (54) Bezeichnung: SCHALLGENERATOR MIT PUMPANTRIEB (57) Abstract			
<p>The aim of the invention is to produce a sound generator for eliminating interference by means of sound absorption and for reproducing signals, speech and music. The sound is preferably generated by means of micro- and nanomechanical air pumps (12) whose output flow is controlled by the actuator (16) according to the required sound signal and exits via a sound channel (11) and the complementary channel (11') acting on a closed buffer volume (15). As with conventional loudspeaker enclosures, the function of the buffer volume (15) is to make an acoustic monopole radiator out of the ineffective dipole of the sound channel (11) and the channel (11'). In the case of air pumps (12) with high pressure ratios, the necessary buffer volume is correspondingly small. The sound-generating volume flow is measured in the sound channel (11) by means of a micromechanical flowmeter (18) and can be readjusted according to a comparison of the desired value and the actual value. Finally, a bore (19) with a high flow resistance balances out air pressure fluctuations and drift errors in the buffer volume (15).</p>			
<p>(57) Zusammenfassung</p> <p>Ziel ist ein Schallgenerator für die Interferenzauslösung mittels Antischall und die Wiedergabe von Signalen, Sprache und Musik. Die Schallerzeugung erfolgt bevorzugt durch mikro- und nanomechanische Luftpumpen (12). Deren Förderstrom wird durch den Antrieb (16) dem geforderten Schallsignal entsprechend gesteuert und tritt über einen Schallkanal (11) aus; der komplementäre Kanal (11') wirkt auf ein abgeschlossenes Puffervolumen (15). Wie bei konventionellen Lautsprecherboxen hat das Puffervolumen (15) die Funktion, aus dem uneffektiven Zweipol von Schallkanal (11) und Kanal (11') einen akustischen Monopolstrahler zu machen. Bei Luftpumpen (12) mit hohen Druckverhältnissen wird das notwendige Puffervolumen entsprechend klein. Mittels eines mikromechanischen Durchflussmessers (18) wird der schallerzeugende Volumenstrom im Schallkanal (11) gemessen und kann nach einem Soll/Ist-Vergleich nachgeregelt werden. Schliesslich bewirkt eine Bohrung (19) mit großem Strömungswiderstand im Puffervolumen (15) einen Ausgleich von Luftdruckschwankungen und Driftfehlern.</p>			



Schallgenerator mit Pumpantrieb.

Gegenstand der Erfindung ist ein Schallgenerator für die Interferenzauslöschung mittels Antischall, für Sprach- und Musikwiedergabe und für akustische Warn- und Hinweissignale.

Die klassische Lösung für das genannte Einsatzgebiet ist der elektrodynamische Lautsprecher mit seinen zahlreichen Spezialisierungen. Problem bei dieser Technik, gerade im unteren Frequenzbereich ist das große notwendige Bauvolumen, bedingt durch die Federsteifigkeit der atmosphärischen Luft. Mit den Baßreflex-Boxen gelingt zwar ein resonanter Federungseinbruch und damit eine Einsparung an Boxenvolumen, erkauft allerdings mit einer Verschlechterung des Frequenz- und Phasenganges. Besonders bei mobilem Einsatz von elektrodynamischen Lautsprechern nachteilig ist deren schlechter Wirkungsgrad mit den dadurch bedingten kurzen Ladezyklen. Eine andere Lösungstechnik benutzt pneumatische Energie als Antrieb. Schiffssirenen z. B. mit rotierenden Unterbrecherscheiben eignen sich ideal zur Wiedergabe lauter und weitreichender Tongemische, aber nur für repetierende Signale. Im weiteren gibt es die – in der englischen Bezeichnung – Air-modulated-devices. Bei diesen wird ein Preßluftstrom durch ein elektrodynamisch angetriebenes Ventil moduliert. Um eine gute Wiedergabe mit geringem Klirrfaktor zu gewährleisten, muß das Modulationsverhältnis möglichst klein sein, d. h. daß dann der akustisch unwirksame konstante Luftflußanteil gegenüber dem Wechselanteil möglichst hoch ist. Dies verschlechtert im gleichen Verhältnis den akustischen Wirkungsgrad. Ein weiterer Verlust praktisch um den Faktor 2 resultiert daraus, daß die Ventilmodulation nicht nur Nutzschall in den Außenraum, sondern auch Schalleistung nach rückwärts, in die Luftzuleitungen emittiert. Dadurch wird auch die Konstanz des Arbeitsluftdruckes beeinträchtigt und so der Klirrfaktor verschlechtert.

Aufgabe der Erfindung ist ein Schallgenerator zur Wiedergabe von Antischall, Sprache, Musik und akustischen Signalen, der bei kleinem Bauvolumen auch für den unteren Frequenzbereich einen guten, klirrfreien Amplituden- und Phasengang und einen hohen Wirkungsgrad aufweist.

Nach dem Hauptmerkmal der Erfindung werden für den Antrieb eines Schallgenerators die aus der Fein-, Mikro- oder Nanomechanik bekannten Pumpen für Luft, Gas oder Fluide benutzt. Dank ihrer geringen Abmessung haben diese sehr kurze Reaktionszeiten und sind so in der Lage, die zur Erzeugung eines Schallsignals notwendigen Förderstrom $q(t)$ bzw. Förderbeschleunigung $dq/dt = q''(t)$ aufzubringen. (q und q'' haben die Dimension m^3/s und m^3/s^2 , t = Zeit). Während der konventionelle Lautsprecher mit großen Membranflächen und kleinen Schwingungsausschlägen arbeitet, kann mit Pumpen dieselbe Förderbeschleunigung $q''(t)$ und folglich dieselbe akustischen Emission, aber mit einer sehr viel kleineren schallabstrahlenden Öffnungsfläche erreicht werden. Dadurch sind die Abmessungen der schallabstrahlenden Öffnung kleiner als die Schallwellenlängen, sodaß hier ein akustischer Monopolstrahler mit Kugelcharakteristik – ohne die bei Lautsprechern störende spektrale Richtcharakteristik und Phasenverzerrung – realisiert werden kann. Unter Freifeldbedingungen bewirkt die Förderbeschleunigung $q''(t)$ an einem Immissionspunkt in der Entfernung r den Schalldruck $p(r, t - r/c) = \rho q''(t)/4\pi r$. Wird der Schallgenerator in einem eindimensionalen Kanal der Querschnittsfläche A betrieben, so ist der Schalldruck bekanntlich $p(r, t - r/c) = \rho c q(t)/A$. Für eine zweidimensionale oder allgemein geformte Geometrie gelten vergleichbare Beziehungen. (c = Schallgeschwindigkeit, ρ = Dichte im Ausbreitungsmedium, z. B. Luft, r/c = Schallaufzeit).-

Einen zusammenfassenden Überblick über mikro- und nanomechanische Pumpen enthält z. B. das Buch „Grundlagen der Mikrosystemtechnik“ von G. Gerlach und W. Dötzl, C. Hauser

Verlag, 1997. Dort ist auch der Entwicklungsstand der anderen mikro- und nanomechanischen Komponenten zusammengestellt, insb. Ventile, Motore, Oszillatoren, Durchfluß- Druck- und Temperatursensoren.

Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung werden Pumpen mit einem hohen Förderdruck zum Betrieb von Schallgeneratoren eingesetzt. Durch Hintereinanderschaltung mehrerer Pumpen läßt sich das Druckverhältnis weiter steigern. Je höher das Druckverhältnis, desto kleiner ist das für den Betrieb des Monopolstrahlers notwendige Puffervolumen. Verglichen mit den beim Membranlautsprecher notwendigen Boxen, kann so durch die Drucksteigerung das Betriebsvolumen beträchtlich verkleinert werden. Dadurch sind auch Puffervolumen und die Luftleitungen klein gegen die emittierte Schallwellenlänge und besitzen so lediglich eine akustische Reaktanz, aber keine Resistenz, sodaß keine Schalleistung nach hinten abgestrahlt und dadurch Wirkungsgrad und Wiedergabe nicht beeinträchtigt werden.

Nach einem weiteren Erfindungsmerkmal werden umsteuerbare Pumpen mit Druck- und Saugbetrieb verwendet. Dadurch entfällt der bei den Air-modulated-devices notwendige Blindluftstrom mit seiner Verlustleistung. Außerdem hilft die Umsteuerung die im Puffervolumen gespeicherte Über- bzw. Unterdruckenergie zurückzugewinnen, was wieder den Wirkungsgrad und damit die Betriebszeit von mobilen Geräten erhöht.

Nach einem weiteren Erfindungsmerkmal wird der schallergzeugende Förderstrom der Pumpen direkt mittels Durchflußmesser oder indirekt durch Druck- und Temperatursensoren im Puffervolumen gemessen und über einen Soll/Ist-Vergleich nachgeregelt. Die hierfür notwendigen Sensoren sind ebenfalls aus der Mikrosystemtechnik bekannt.

Nach einem weiteren Erfindungsmerkmal werden mit gleicher Frequenz oszillierende Pumpen und Ventile benutzt, deren Oszillationsfrequenz groß gegenüber der abzustrahlenden Nutzschallfrequenz ist. Je größer dieses Frequenzverhältnis, desto genauer kann das Schallsignal nachgebildet werden. Die Steuerung des Förderstromes nach Größe und Vorzeichen erfolgt durch Phasen- und/oder Amplitudenverstellung der Pumpen und Ventile untereinander. Als solche sind Blattfedern mit Piezoantrieb oder durch phasensteuerbare Motore angetriebene Kolbenpumpen und Rotations- und Hubkolbenventile einsetzbar.

Um das bei getaktetem Pumpbetrieb verursachte periodische Eigengeräusch direkt an der Quelle zu minimieren, werden im Takt um 180° versetzte Doppelpumpen eingesetzt; dadurch läßt sich eine Auslöschung der ungeraden Lärmharmonischen erreichen. Über diese Dipolauslöschung hinausgehend sind zwei Doppelpumpen in Quadrupol-Anordnung. Bereits mit drei in der Taktphase um 120° versetzten Einzelpumpen erreicht man Quadrupol-Auslöschung und eine ideale Glättung des nutzschallergzeugenden Luftstromes. Das periodische Eigengeräusch kann auch über Antischall-Auslöschung eliminiert werden. Weitere sekundäre Mittel sind Absorptionsstoffe, $\lambda/4$ -und Helmholtz-Resonatoren sowie akustische Filter und Netzwerke, die das hochfrequente Eigengeräusch ausschalten ohne den Nutzschall zu stören.

Für den mittleren und noch mehr für den oberen Frequenzbereich verringert sich das Volumenproblem. Auch dank der kleinen Volumenumsätze reichen hierfür Luftpumpen aus der Nanotechnik aus. Alternativ sind auch konventionelle Hochtöner mit Frequenzweichen möglich.

Weitere erfindungsgemäße Merkmale betreffen die Zusatznutzung. So kann der gepumpte Luftstrom auch zur Elektronik-Kühlung und zur Luftfilterung und zur Entfeuchtung

herangezogen werden. Als Puffervolumen kann in vielen Anwendungsfällen ein bereits vorhandenes Konstruktionsvolumen genutzt werden: Bei einer Uhr mit Sprachwiedergabe z.B. der Zeigerraum zwischen Ziffernblatt und Uhrglas; in anderen Fällen der – beliebig geformte - Raum über der Steuerelektronik.

Der Erfindungsgegenstand ist anhand mehrerer Ausführungsbeispiele dargestellt. Es zeigen:

Fig. 1 bis 6 Schallgeneratoren mit Puffervoluminas und angetrieben durch Pumpen deren Volumenfluß steuerbar ist.

Fig. 7 und 8 Schallgeneratoren mit Puffervoluminas und angetrieben durch konstant fördernden Pumpen und Steuerung des Volumenflusses durch Ventile.

Fig. 9 bis 12 Schallgeneratoren mit Puffervoluminas und oszillierender Pumpenförderung und mit oszillierenden Ventilen.

Fig. 13 Schallgenerator mit Speicherung von kinetischer Energie im Puffervolumen.

Fig. 14 Schallgenerator in Zweipol-Ausführung. (Stereobetrieb)

Fig. 15 bis 17 Reduktion des Eigengeräusches der Pumpen und der Ventile.

Fig. 18 Ausbildung der Schallöffnung.

Bei der Beschreibung wird folgende Bezeichnung verwendet. (X = Nummer der Figur) X0 = Schallgenerator; X1 = Schallöffnung, Schallkanal; X2,X3,X4 = Pumpenaggregat, Pumpenantrieb, Pumpenkomponenten; X5 = Puffervolumen; X6,X7 = Modulationseinheit, Ventil, Ventilkomponente; X8 = Sensoren für Durchfluß-, Druck- und/oder Temperatur-Messung; X9 = akustisches Netzwerk, Schutzmembranen, sonstige Bauteile.

Fig. 1 stellt die Grundausführung eines Schallgenerators 10 dar, bestehend aus einer Luftpumpe 12 und einem Puffervolumen 15. Der Luftdurchsatz – die Förderbeschleunigung $q^*(t)$ - der Luftpumpe 12 wird durch eine integrierte Pumpensteuerung 16 entsprechend dem geforderten Schallsignal $p(t)$ gesteuert und wirkt beim Austritt durch den Schallkanal 11 als akustische Monopolquelle. Diese Vorstellung ist gültig, solange die abgestrahlte Schallwellenlänge groß gegen den Durchmesser des Schallkanals 11 ist. Mit mehreren derartigen „punktformigen“ Monopolstrahler lassen sich in bekannter Weise auch Linien-, Flächen- und Volumenstrahler synthetisieren. Aus der Mikro- und Nanotechnik sind derartige Pumpensysteme mit ausreichend hoher Arbeitsfrequenz bekannt, die auch umsteuerbar sind und sich sowohl für Druck- als auch für Saugbetrieb eignen. Die andere Pumpenöffnung 11 mündet in das Puffervolumen 15. Dieses hat akustisch dieselbe Funktion wie die Boxen bei den konventionellen Lautsprechern. Zusätzlich befindet sich im Schallkanal 11 ein Durchflusssensor 18 über den der Förderstrom bzw. die Förderbeschleunigung bestimmt und an einen Sollwert angepaßt werden kann. Für eine indirekte Flussmessung können auch im Puffervolumen 15 positionierte Drucksensoren verwendet werden. Auch hierfür hat die Mikrosystemtechnik erprobte Meßsysteme parat. Um Luftdruckschwankungen und Driftfehler der Luftpumpe 12 und des Durchflusssensors 18 auszugleichen befindet sich am Puffervolumen 15 eine Bohrung 19 mit hohem Strömungswiderstand.

Beim Schallgenerator 20 in Fig. 2 ist die Pumpe 22 mit der Pumpensteuerung 26 und das Pumpmedium 24 durch Membrane 21 und 23 abgeschlossen. Das Pumpmedium 24 kann aus Luft, Gas oder Flüssigkeit bestehen. Gegenüber dem offenen Kreis nach Fig. 1 ist so ein voller hermetischer Abschluß gegeben, wie dies z. B. bei einem in eine Uhr integrierten Lautsprecher verlangt ist. Die Volumenverdrängung der Membran 21 wirkt hier als Schallsender und wird durch die volumensteuerbare Pumpe 22 angetrieben. Als Ausgleich dient hier wieder ein Puffervolumen 25; dieses ist hier kugelförmig ausgebildet, um auch mit geringer Wandstärke eine ausreichende Volumensteifigkeit zu gewährleisten.

Die Volumensteuerung mit positiven und negativen Flüssen, d. h. mit Druck- und Saugbetrieb engt die Zahl der möglichen Pumpensysteme ein, deswegen beschreibt Fig. 3 einen Schallgenerator 30 mit zwei identischen Pumpen 32 und 32', die gegeneinander verdreht, entgegengesetzte Förderrichtungen haben. Die (Druck)Pumpe 32 fördert aus einem Puffervolumen 35 über die Öffnung 31 Luft in den Außenraum und umgekehrt erfolgt die Ansaugung über die Öffnung 31' in das Puffervolumen 35 durch die (Saug)Pumpe 32'. Der für die Schallabstrahlung maßgebende Nettostrom der Öffnungen 31 und 31' kann indirekt über einen Drucksensor 38, der den Druck im Puffervolumen 35 mißt, reguliert werden: Zur Steigerung des Druckverhältnisses sind zwei – oder mehrere – (Druck)Pumpen 32 und (Saug) Pumpen 32' hintereinander geschaltet. Eine Druckverdoppelung halbiert das Puffervolumen. Der Schallgenerator 40 nach Fig. 4 besteht aus einer großen Anzahl von Druckpumpen 42 und einer ebensolchen Zahl von Saugpumpen 42'. Diese sind zwischen den zugeordneten Schallöffnungen 41 und einem Puffervolumen 45 geschaltet. Die Druck- und Saugpumpen 42 und 42' sind auf konstant arbeitende Betriebszustände – eingestellt. Der schallerzeugende, resultierende Förderstrom wird hier nur durch die Zahl der ein- und ausgeschalteten Druck- und Saugpumpen 42 und 42' gesteuert. Da der Zeit- und Fertigungsaufwand von mikro- und nanomechanischen Komponenten praktisch unabhängig von der Stückzahl ist, kann es vorteilhaft sein anstelle von nur einer Pumpe eine Vielzahl kleinerer Pumpen einzusetzen. Mit kleiner werdender Baugröße verringert sich die Reaktions- und Anlaufzeit der Saug- und Druckpumpen 42 und 42'. Um einen größeren Dynamikbereich abzudecken, ist es zweckmäßig zwei- oder mehrere Pumpengrößen einzusetzen. Eine solche Stufung wird auch den unterschiedlichen Förderströmen für tief- und hochfrequente Schallabstrahlung besser gerecht.

Der Schallgenerator 50 nach Fig. 5 mit Puffervolumen 55 und Drucksensor 58 wird mit einem Flagella-Pumpenprinzip betrieben. Dieses Prinzip wird in der Natur bei der Fortbewegung der Geißeltierchen – der Flagellaten – angewendet. Dazu sind in dem Kanal der Schallöffnung 51 mehrere Wellenleiter 52 für mechanische Transversalwellen angebracht. An den Enden der Wellenleiter 52 befinden sich Schwingerreger 54 und 54'. Der Schwingerreger 54 erzeugt im Wellenleiter 52 eine Biege- oder Saitenwelle mit einer Frequenz, die sehr viel höher ist als die abzustrahlende Schallfrequenz und die sich zur Schallöffnung 51 hin ausbreitet. Die Wechselwirkung der Welle mit dem umgebenden Medium, z. B. Luft oder Fluid übt auf dieses eine Kraft und damit eine Strömung zur Schallöffnung 51 hin aus. Über die Leistung des Schwingerreger läßt sich so der schallerzeugende Förderstrom steuern. In gleicher Weise wird der entgegengesetzt gerichtete Förderstrom durch die Schwingerreger 54' gesteuert. Aus der Theorie des Flagella-Antriebes ist bekannt, daß die erzielbare Wechselwirkungskraft und damit auch die hier interessierende geförderte Luft- bzw. Flüssigkeitsmenge umso höher ist, je kleiner die Geschwindigkeit der Biegewelle und je geringer die Eigenverluste der Wellenleiter 52 sind. Dünnwandige Streifen und Drähte aus Metall und faserverstärkten Kunststoffen erfüllen diese Forderungen. – Im allgemeinen Fall ist die Welle beim Durchlaufen des Wellenleiter 52 noch nicht voll abgeklungen. Wie aus der Antischwingungstechnik (AVC = active vibration control) bekannt, können sich hier die Schwingerreger 54 und 54' gegenseitig als aktive Schwingungsabsorber dienen.

In Fig. 6 besteht der Schallgenerator 60 aus einem Puffervolumen 65 einer Druckpumpe 62 mit der Ausblasöffnung 61 und einer Saugpumpe 62' mit der Einsaugöffnung 61'. Beide Pumpen 62 und 62' z. B. vom Typ eines Roots-Gebläses, werden von einem Motor 63 über ein Differentialgetriebe 64 angetrieben. Mit auf der Pumpenwelle sitzen die Steuer(Brems)-Motore 66 und 66'. Wird durch diese ein unterschiedliches Drehmoment aufgebracht, so kann – wie beim PKW-Differential bekannt – die Drehzahl der Pumpen 62 und 62' und damit das Fördervolumen gezielt eingestellt werden.

Bei den Ausführungsbeispielen nach den Fig. 7 und 8 handelt es sich um Schallgeneratoren 70 und 80 die durch konstant fördernde Pumpen angetrieben werden und bei denen die

Steuerung des schallerzeugenden Luftstroms durch Ventile erfolgt. In Fig. 7 saugt eine Pumpe 72 Luft aus einem Unterdruckvolumen 75 in ein Überdruckvolumen 75. Das Steuerventil 76 gibt über eine Öffnung 71 Luft an den zu beschallenden Außenraum ab. Analog wird Luft über das Ventil 76' über die Öffnung 71' abgesaugt. Die Fördermenge der Pumpe 72 richtet sich nach der abzustrahlenden Schalleistung und wird dieser angepaßt. Um eine Reserve bei plötzlicher Lautstärkesteigerung zu haben, ist ein gewisser Vorhalt zweckmäßig. Bei Fig. 8 dagegen besteht nur ein Puffervolumen 85 mit einer konstant fördernden Pumpe 82 und den Drehventilen 86 und 86'. Durch den Stellungswinkel des Ventils 86 läßt sich das Verhältnis des nach außen und in das Puffervolumen 85 geförderten Luftstroms einstellen, analog das des Saugstroms über das Drehventils 86'. Der netto nach außen umgesetzte Luftstrom bildet wieder die Schallsignatur nach. Um aus dem primären Dipolstrahler einen sehr viel effektiveren akustischen Monopolstrahler zu machen, wird der Wechsel der Luftströme wieder durch das Puffervolumen 85 ausgeglichen. Den Schallöffnungen 81 und 81' ist ein Kamervolumen 89 vorgeschaltet, das mit der Schallöffnung 81'' ein Tiefpaßfilter bildet und die hochfrequenten Eigengeräusche des Schallgenerators 80 unterdrückt.

Die Ausführungsbeispiele der Fig. 9 bis 12 haben getaktete Pumpen und Ventile mit einer Taktfrequenz, die höher als die abzustrahlende Schallfrequenz ist. In Fig. 9 schwingen der Pumpkolben 92 und die Schwingventile 96 und 97 mit derselben Frequenz. Die gestrichelt eingezeichneten Positionen stellen den Pumpkolben 92 und die Schwingventile 96 und 97 in der entgegengesetzten Amplitudenlage dar. Um die reaktiven Antriebskräfte – die störenden Blindkräfte – zu vermeiden, sind alle drei Elemente 92, 96 und 97 auf dieselbe Resonanzfrequenz abgestimmt, können aber in ihrer Schwingphase und auch Amplitude gegeneinander verstellt werden. Eine solche Verstellung erfolgt z.B. durch den Antrieb. Bei der in Fig. 9 verwendeten Blattausführung der Elemente 92, 96 und 97 eignen sich hierfür Piezoaktoren. Durch die gegenseitige Phasenlage untereinander kann der akustisch wirksame Förderstrom an der Öffnung 91 nach Richtung und Größe eingestellt werden. Der von der abzustrahlenden Schalleistung abhängige Förderstrom wird über die Schwingamplituden des Pumpkolbens 92 eingestellt. Bei großen Dynamikschwankungen ist ein gewisser Förderüberschuß zweckmäßig. Anstelle des Schwingantriebes durch Piezoaktoren können Pumpkolben 92 und die Ventile 96 und 97 in Drehausführung (siehe Fig. 11) gebaut und durch phasensteuerbare Motore angetrieben werden. Um wieder Monopolabstrahlung zu haben, ist ein Puffervolumen 95 vorgesehen. Man kann auf dieses verzichten, wenn die Schallöffnungen 91 und 91' auf zwei akustisch getrennte Räume wirken. Das ist z. B. dann der Fall, wenn der Schallgenerator 90 in eine Kanalwand eingebaut ist, und eine der Schallöffnungen 91 und 91' in den Kanal- und eine in den Außenraum mündet.

In Fig. 10 ist das Puffervolumen 105 einer Schallgenerators 100 als $\lambda/2$ -Resonator ausgebildet. Durch den Schwingkolben 102 wird eine stehende Welle erzeugt. Die Eigenresonanz des Schwingventils 106 ist auf die $\lambda/2$ -Resonanz abgestimmt. Durch die Phasenlage und die Amplituden von Schwingkolben 102 und Schwingventil 106 läßt sich wieder der Volumenfluß an der Öffnung 101 nach Richtung und Betrag steuern.

In Fig. 11 bestehen in den Voluminas 115 und 115' angetrieben durch den Schwingkolben 112 zwei stehende $\lambda/2$ -Wellen, die in ihrer Phasenlage um 180° versetzt sind. An den Öffnungen 111 und 111' liegt deshalb stets der entgegengesetzte Schalldruck an. Eine durch den Motor 117 angetriebene Ventilscheibe 116 mit einer Drehfrequenz gleich der Frequenz der $\lambda/2$ -Schwingung besitzt Öffnungen und ist an der dazu radial gegenüberliegenden Seite geschlossen. Bei einer Phasenlage bei der im Überdruck Durchgang zu der Schallöffnung 111 besteht, wird Luft nach außen befördert; bei Phasenlage im Unterdruck erfolgt Ansaugung. In der Mittellage dagegen besteht kein resultierender Luftfluß der Öffnungen 111 und 111'. Auch hier läßt sich durch die Phasenlage und Amplitude der nutzschallerzeugende Luftstrom nach Richtung und Betrag steuern.

Das Ausführungsbeispiel nach Fig. 12 ist das zweidimensionale Analogon zur eindimensionalen Ausführung nach Fig. 10. Auf das zweidimensionale Puffervolumen 125 wirken zwei orthogonale Schwingkolben 122 und 122' und regen $\lambda/2$ - Schwingungen in horizontaler und vertikaler Richtung an. Zwei Schwingventile 126 und 126' sind auf die Frequenzen der Schwingkolben 122 und 122' abgestimmt. Durch deren Phasenlage kann wie auch im eindimensionalen Fall der schallerzeugende Luftstrom der Öffnungen 121 und 121' gesteuert werden.

Das Puffervolumen 135 in Fig. 13 speichert nicht nur Druck- sondern auch kinetische Energie. Dazu wird durch einen im wesentlichen konstant rotierenden Rotor 132 die Luft im Puffervolumens 135 in Rotation versetzt. Am Umfang des Puffervolumens ist eine Ventilklappe 136 angebracht. In der Stellung 136' wird Luft nach außen befördert und in der entgegengesetzten Stellung 136'' saugt die Rotationsbewegung nach dem Prinzip der Gasstrahlpumpe Luft von außen an. Dieses Prinzip lässt sich erweitern, indem ein zweites, in Ruhe befindliches Puffervolumen mit angeschlossen ist.

Fig. 14 zeigt einen Schallgenerator 140 in Zweipol-Ausführung, wie dies z.B. bei Stereowiedergabe oder auch bei der Realisierung eines akustischen Dipols zweckmäßig ist. Dazu sind zwei eigenständige Pumpantriebe 142 und 142' mit den zugehörigen Lautsprecheröffnungen 141 und 141' vorgesehen. Jede Einheit kann nach einem der Ausführungsbeispiele der Fig. 1 bis 12 ausgelegt sein. Anstelle von individuellen Puffern ist hier nur ein gemeinsames Puffervolumen 145 vorgesehen; im Extremfall kann dieses zu einer Verbindungsrohre entarten. Bei mehrpoligen Lautsprecheranlagen kann auch ein gemeinsames Puffervolumen für alle Einzelpole vorteilhaft sein. Dasselbe gilt bei Array-Anordnung für eine gerichtete Schallabstrahlung. Stehende Wellen im Puffervolumen 145 werden durch Schallabsorber 149 gedämpft.

Bei den Ausführungen nach den Fig. 15 bis 17 handelt es sich um Mittel um die Takt- und auch die sonstigen Eigengeräusche der Pumpen und der Ventile auszuschalten. In Fig. 15 erfolgt destruktive Interferenzauslöschung, indem zwei Öffnungen 151 und 151' von um 180° im Takt verschobenen Pumpen und Ventile zusammengebracht sind. Eine solche Anordnung verwandelt einen Monopolstrahler in einen weniger effektiven Dipol. Eine Viereranordnung mit Quadrupoleigenschaft ergibt eine weitere Reduktion des Taktgeräusches. Der Nutzschall ist davon nicht betroffen. In Fig. 16 ist der Öffnungskanal 161 mit schallabsorbierenden Faserstoffen 169 ausgefüllt. Der Störschall der hochfrequent arbeitenden Pumpen und Ventile wird sehr viel stärker gedämpft als der tieffrequenter Nutzschall. Gleichzeitig kann mit den Faserstoffen 169 eine Staubfilterung vorgenommen werden. In Fig. 17 schließlich ist der Lautsprecherkanal 171 mit - hier - Helmholtz-Resonatoren 179 ausgelegt. Damit können gezielt, ohne Störung der Nutzschall, die Taktfrequenz und deren Harmonische absorbiert oder gedämmt werden. Dadurch wird auch der akustisch nutzbare Volumenstrom des Lautsprecherkanals 171 geglättet.

In Fig. 18 weist der Schallkanal 181 eine Querschnittserweiterung auf. Diese Erweiterung ist als aerodynamischer Diffusor ausgebildet und dient bei großen Förderströmen, d.h. bei großen Strömungsgeschwindigkeiten dazu, einen reversiblen Druckausgleich ohne verlustbehaftete Wirbelbildung zu gewährleiten. Mit - hier nicht eingezeichneten - Kanalunterteilungen kann auch bei kurzen Kanallängen eine anliegende, wirbelfreie Strömung aufrecht erhalten werden. Im allgemeinen Fall erfüllt die Auslegung des Schallkanals 181 als Diffusor nicht die Anforderungen eines akustischen Horns. Selbstverständlich kann aber ein Schalltrichter nachgeschaltet werden. - Schließlich ist der Schallkanal 181 mit einem Schutzgitter 189 gegen Verschmutzung und Störkontakt versehen.

Schutzansprüche.

1. Schallgenerator für Antischall-, Signal-, Sprach- und Musikwiedergabe vom Infra- bis Ultraschallbereich gekennzeichnet durch eines oder mehrere der folgenden Merkmale:
 - a) der Schallgenerator besitzt ein Pumpensystem, bestehend aus Pumpe und Modulationseinrichtung, einem Puffervolumen und einer Schallöffnung
 - b) das Pumpensystem befindet sich zwischen dem Puffervolumen und der Schallöffnung und fördert einen modulierten Fluidvolumenstrom durch die Schallöffnung
 - c) der Gleichstromanteil des Fluidvolumenstromes ist Null
 - d) ein Sensor zeichnet zeitlich hochauflöst physikalische Daten des Pumpensystems, des Fluids im Puffervolumen, den Fluidvolumenstrom oder den emittierten Schalldruck auf und leitet die Daten einer Kontrolleinheit zu, die das Pumpensystem steuert oder regelt
 - e) die Pumpfrequenz des Pumpensystems ist größer oder gleich als die Modulationsfrequenz des Nutzschalls
 - f) der modulierte Fluidvolumenstrom bewirkt Druckänderungen in dem Puffervolumen und akustische Monopolabstrahlung an der Schallöffnung
 - i) der modulierte Fluidvolumenstrom bewirkt durch Impulsübertragung an die Umgebung neben Monopol- auch Dipolabstrahlung und es resultiert gerichtete Schallabstrahlung.

2. Schallgenerator nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eines oder mehrere der folgenden Merkmale:

- a) als Pumpe wird eine aus der Fein-, Mikro- oder Nanotechnik bekannten oder eine in den Figuren beschriebenen Pumpen verwendet
- b) Die Pumpe gehört zu den Gattungen Kolben-, Membran-, Umlaufkolben-Pumpe oder einer anderen der bekannten Pumpengattungen oder ist ein Ventilator, Verdichter, Gebläse, eine Turbine, eine Flagella-Pumpe
- c) die Pumpe besteht aus einer flexiblen, aktiv auslenkbaren Wand im Puffervolumen,
- d) die Pumpe erzeugt Volumenverdrängung und/oder Druckaufbau durch drehende, oszillierende oder schwingende Teile und/oder durch bekannte mechanische Wellenleiter
- e) die Pumpe besitzt eine feste Förderrichtung oder die Pumpe ist umsteuerbar und realisiert Saug- und Druckbetrieb
- f) die Pumpe fördert einen analogen oder digitalen Fluidvolumenstrom
- g) der Antrieb der Pumpe und / oder der Modulationseinrichtung erfolgt über Elektromotoren, Piezoelemente, mechanische, hydraulische oder pneumatische Antriebe oder andere bekannte Antriebe
- h) das Pumpensystem bzw. der Antrieb desselben wird durch das Fluid selbst oder durch thermische Abstrahlung gekühlt.

3. Schallgenerator nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 2, gekennzeichnet durch eines oder mehrere der folgenden Merkmale:

- a) das Puffervolumen besitzt ein druckfestes Gehäuse mit mindestens einer Öffnung, an denen das Pumpensystem oder Teile desselben angebracht sind
- b) als Puffervolumen ist ein Kanal, Ringkanal oder ein spiral-, scheiben-, kasten oder kugelförmiger Hohlraum oder ein bereits vorhandener Hohlraum nutzbar
- c) mehrere Puffervolumen sind verbunden und/oder akustisch oder schwingungstechnisch gekoppelt über bewegliche Trennwände oder schwingende Bauteile
- d) stehende Wellen im Puffervolumen werden durch bekannte passive Absorber und/oder aktive Schalldämpfungsmaßnahmen gedämpft
- e) die Pumpensysteme werden anstatt an ein Puffervolumen in eine Wand eingebaut oder an ein großes Fluidvolumen angeschlossen

f) in dem Puffervolumen wird ausser über den Druck des Fluids Energie durch eine Fluidströmung oder durch reaktive Auslenkung von Bauteilen zwischengespeichert.

4. Schallgenerator nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 3, gekennzeichnet durch eines oder mehrere der folgenden Merkmale:

- a) besitzt mindestens eine Schallaustrittsöffnung
- b) die Schallaustrittsöffnung und/oder andere Öffnungen des Schallgenerators sind durch Membrane abgedichtet
- c) an die Schallöffnung wird ein aerodynamischer Diffusor angebracht
- d) zur Dämpfung der Taktgeräusche oder anderer Eigengeräusche des Pumpsystems werden aktive oder passive Schalldämpfer oder Resonatoren eingesetzt
- e) vor oder hinter der Schallöffnung befinden sich reaktive Elemente (Helmholtz-, $\lambda/4$ -Resonator) oder ein akustisches Netzwerk zur Schallverstärkung oder -filterung
- f) an die Schallöffnung ist ein akustisches Horn angeschlossen
- g) die Schallöffnung besitzt ein Gitter oder Gewebe als Staub- und Berührungsschutz.

5. Schallgenerator nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4, gekennzeichnet durch eines oder mehrere der folgenden Merkmale:

- a) die Modulationseinrichtung besteht aus mindestens Ventilen oder einer anderen bekannten Vorrichtungen zur Fluidmodulation, die in der Pumpe integriert oder separat ist
- b) die Pumpe selber oder die Modulationseinrichtung moduliert den Fluidvolumenstrom über die Variation der Pumpfrequenz, einen veränderlichen Pumphub, über das Zu- und Abschalten einzelner Pumpen oder Kanäle, das Takt-,Amplituden- oder Phasenverhältnis zwischen der Modulationseinrichtung und der Pumpe oder mehreren Pumpen, über stehende Wellen in dem Puffervolumen oder über einen Sirenenmechanismus oder Kombinationen derselben
- c) die Ventile modulieren den Fluidvolumenstrom durch Amplituden-, Frequenz- oder Phasensteuerung oder mehrere Ventile modulieren den Fluidvolumenstrom durch Schliessen und Öffnen einzelner Ventile
- d) bei einer Pumpe mit einer Förderrichtung wird der Fluidvolumenstrom durch zwei Ventile vor und hinter der Pumpe entsprechend der zu erzielenden Fluidvolumenstrommodulation oder durch Strömungsumlenkung jeweils nach außen oder ins Puffervolumen geleitet
- f) eine passive Modulation erfolgt, indem das gesamte Pumpesystem oder Teile desselben oder das Fluid im Puffervolumen oder in der Schallöffnung Eigenschwingungen ausführen
- g) die frequenzabhängige Arbeitsweise des Pumpsystems und/oder Verluste oder Nichtlinearitäten bei der Verdichtung durch das Pumpesystems werden durch eine entsprechende Aufbereitung des Steuersignals berücksichtigt
- h) zwei Pumpen arbeiten hochfrequent mit nahezu der gleichen Frequenz und generieren tieffrequente Nutzschallabstrahlung entsprechend dem Tartini-Effekt
- i) zwei oder mehrere Pumpesysteme oder Teile desselben mit gleicher oder entgegengesetzter Förderrichtung werden elektrisch oder mechanisch gekoppelt werden, um durch Beeinflussung der Kopplung eine Modulation zu erreichen, wie dies in Fig. 6 exemplarisch ausgeführt ist.

6. Schallgenerator nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch eines oder mehrere der folgenden Merkmale:

- a) der Sensor befindet sich an oder innerhalb der Schallöffnung, in dem Pumpesystem oder im Puffervolumen und zeichnet den Druck, die Temperatur, den Fluidvolumenstrom, die Geschwindigkeit des Fluidvolumenstromes, und/oder den Schalldruck ausserhalb der Pumpe oder eine andere, den Fluidvolumenstrom charakterisierende Größe oder Bewegungen des Pumpesystems auf

b) das System kommt ohne Sensor aus, wenn das Verhalten der Pumpe bekannt ist und/oder keine große Anforderung an die Klangtreue des Schallgenerators gestellt wird.

7. Schallgenerator nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6, gekennzeichnet durch eines oder mehrere der folgenden Merkmale

- a) das Pumpsystem besitzt eine oder mehrere Pumpen gleicher oder gestaffelter Größe, Art, Pumpfrequenz und -hub
- b) mehrere Schallöffnungen oder mehrere Schallgeneratoren bilden ein-, zwei-, dreidimensionale akustische Arrays oder eine End-Fired-Line oder eine Zweipolanordnung, wobei in an sich bekannter Weise durch Amplituden-, Frequenz und/oder Phaseneinstellung jede beliebige Richtcharakteristik realisiert werden kann
- c) die Pumpsysteme, die Pumpen oder Teile derselben werden in Reihe oder parallel geschaltet
- d) der Schallgenerator wird innerhalb eines Rohres, um ein Rohr oder an ein Rohr positioniert, wobei die Schallabstrahlung durch die Schallöffnungen in das Rohr erfolgt.

8. Schallgenerator nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 7, gekennzeichnet durch eines oder mehrere der folgenden Merkmale:

- a) das Pumpsystem arbeitet autark ohne Steuerung, besitzt nur eine Energieversorgung und moduliert durch Eigenschwingungen oder eine andere Automatik
- b) das Pumpsystem besitzt eine Steuerung oder Regelung, wobei diese über ein Sensorsignal die akustische Abstrahlung oder eine andere physikalische Größe des Pumpsystems, des Fluidstromes oder Puffervolumens als Steuer- oder Regelgröße berücksichtigt
- c) zum Ausgleich von Luftdruckschwankungen und von Driftfehlern besitzt das Puffervolumen eine zusätzliche Öffnung mit hohem Strömungswiderstand.

9. Schallgenerator nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 8, gekennzeichnet durch eines oder mehrere der folgenden Merkmale:

- a) der Schallgenerator wird in Kleingeräten wie Uhren, Handys, Fernsteuerungen, Stiften, Brillen, Schmuck, Checkkarten, Tastaturen, Bildschirmen, Schlüsselanhängern, Spielzeug, Haushaltsgeräten, Hörgeräten oder anderen Bauteilen integriert, wobei nicht genutzte oder extra gestaltete Totvolumina als Puffervolumen genutzt werden
- b) der Schallgenerator wird in bestehende Lautsprechersysteme integriert oder ergänzt diese
- c) der Schallgenerator wird auf beweglichen oder schwingenden Bauteilen befestigt
- d) der Schallgenerator wird in nach den Regeln der Antischalltechnik zur destruktiven Interferenzauslösung eingesetzt.

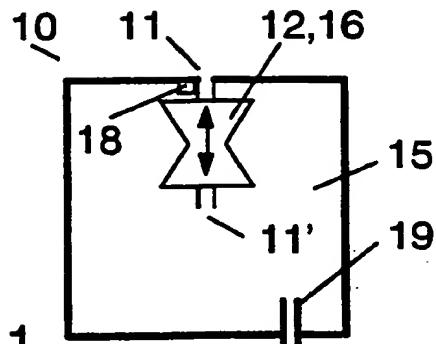


Fig. 1

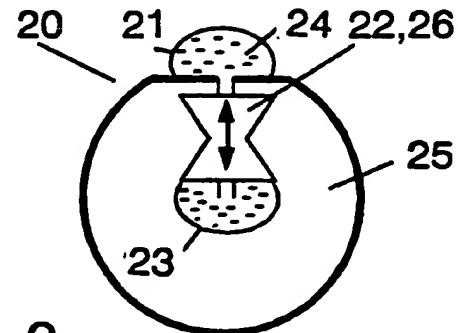


Fig. 2

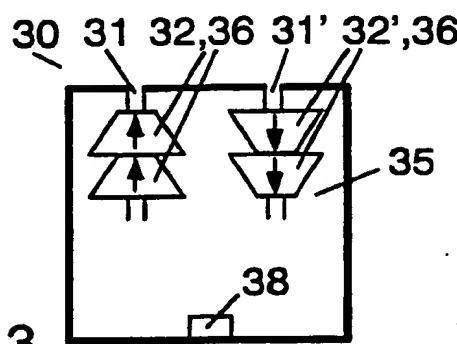


Fig. 3

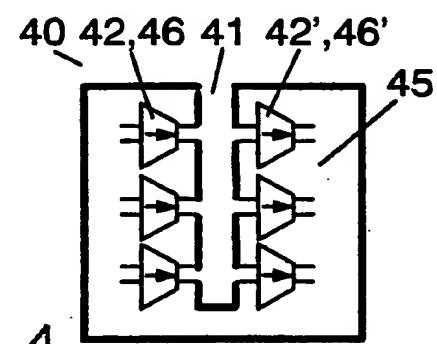


Fig. 4

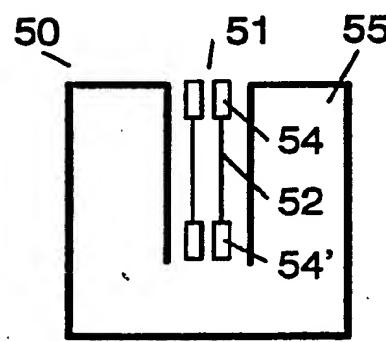


Fig. 5

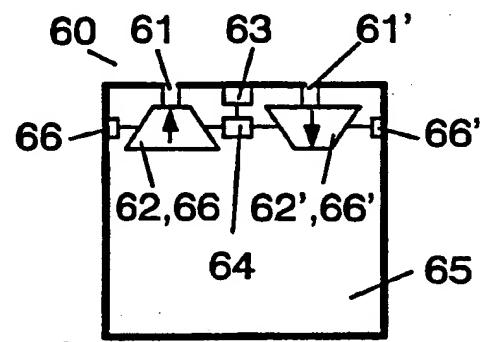


Fig. 6

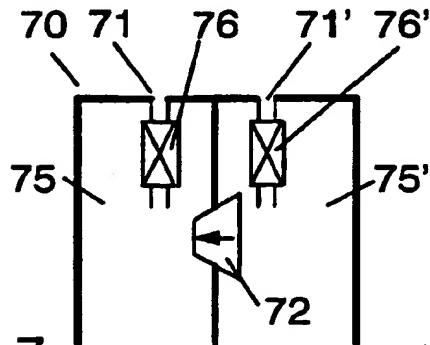


Fig. 7

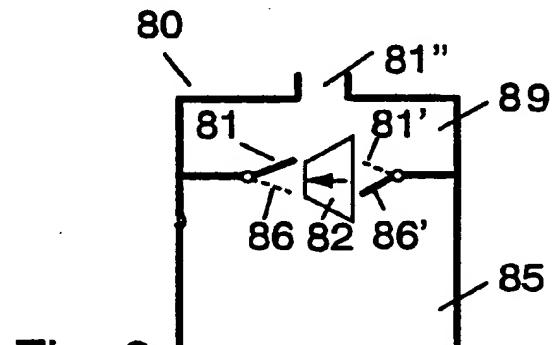


Fig. 8

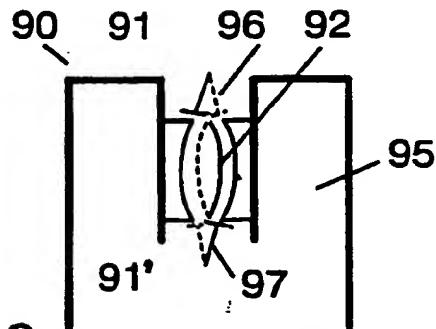


Fig. 9

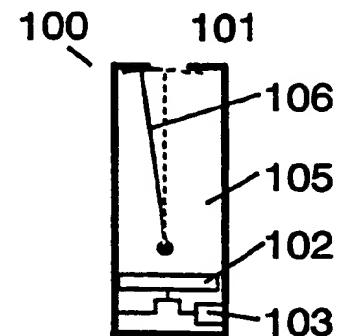


Fig. 10

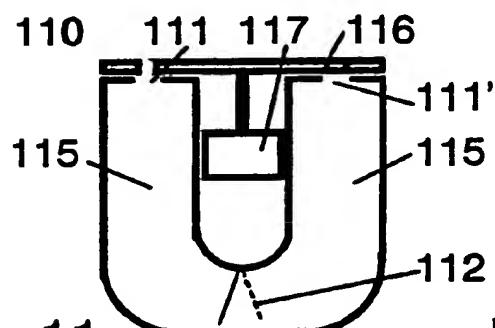


Fig. 11

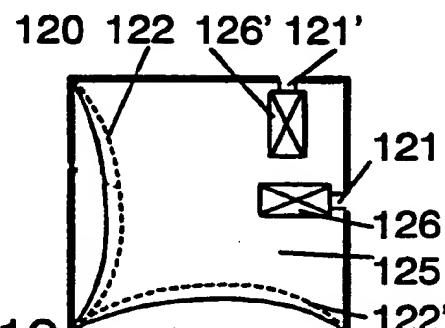


Fig. 12

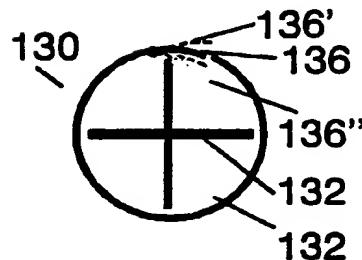


Fig. 13

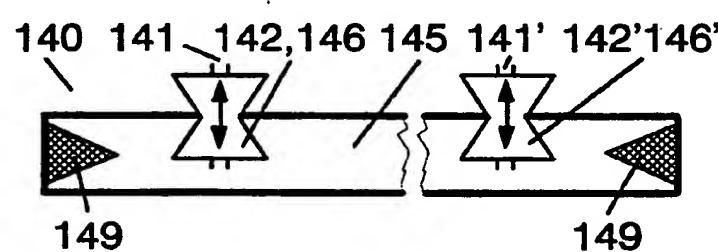


Fig. 14

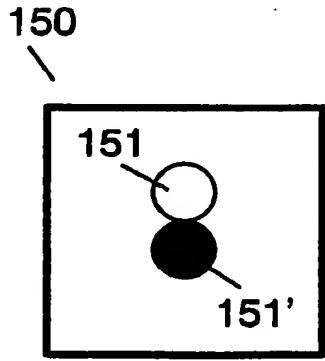


Fig. 15

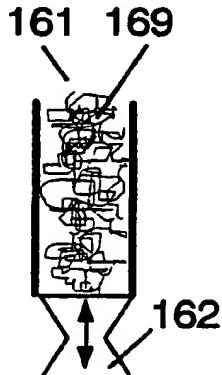


Fig. 16

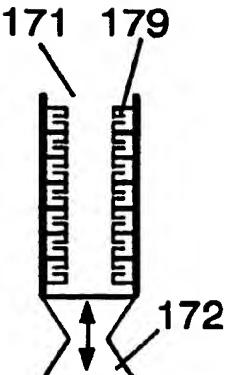


Fig. 17

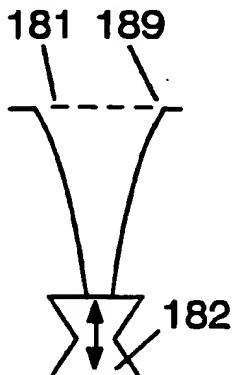


Fig. 18

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
10. August 2000 (10.08.2000)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 00/47012 A3

(51) Internationale Patentklassifikation?: **H04R 21/00, G10K 11/00**

(81) Bestimmungsstaaten (national): AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DK, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZW.

(21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/DE00/00252**

(22) Internationales Anmeldedatum:
28. Januar 2000 (28.01.2000)

(25) Einreichungssprache: **Deutsch**

(26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch**

(30) Angaben zur Priorität:
199 04 106.7 2. Februar 1999 (02.02.1999) DE

(71) Anmelder und
(72) Erfinder: BSCHORR, Oskar [DE/DE]; Keplerstrasse 11, D-81679 München (DE).

(72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): RAIDA, Hans-Jochen [DE/DE]; Auf dem Heidenfeld 20, D-50735 Köln (DE).

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

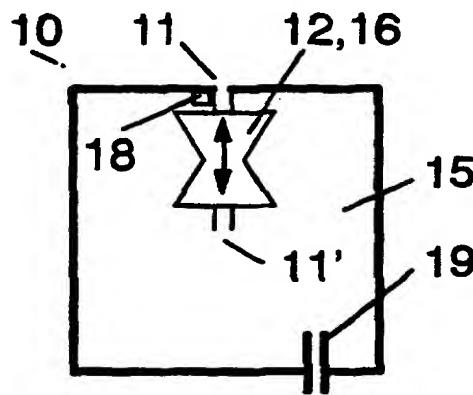
Veröffentlicht:
— *Mit internationalem Recherchenbericht.*

(88) Veröffentlichungsdatum des internationalen Recherchenberichts: **21. Dezember 2000**

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: SOUND GENERATOR WITH A PUMP ACTUATOR

(54) Bezeichnung: SCHALLGENERATOR MIT PUMPANTRIEB



(57) Abstract: The aim of the invention is to produce a sound generator for eliminating interference by means of sound absorption and for reproducing signals, speech and music. The sound is preferably generated by means of micro- and nanomechanical air pumps (12) whose output flow is controlled by the actuator (16) according to the required sound signal and exits via a sound channel (11); the complementary channel (11') acting on a closed buffer volume (15). As with conventional loudspeaker enclosures, the function of the buffer volume (15) is to make an acoustic monopole radiator out of the ineffective dipole of the sound channel (11) and the channel (11'). In the case of air pumps (12) with high pressure ratios, the necessary buffer volume is correspondingly small. The sound-generating volume flow is measured in the sound channel (11) by means of a micromechanical flowmeter (18) and can be readjusted according to a comparison of the desired value and the actual value. Finally, a bore (19) with a high flow resistance balances out air pressure fluctuations and drift errors in the buffer volume (15).

(57) Zusammenfassung: Ziel ist ein Schallgenerator für die Interferenzauslösung mittels Antischall und die Wiedergabe von Signalen, Sprache und Musik. Die Schallerzeugung erfolgt bevorzugt durch mikro- und nanomechanische Luftpumpen (12). Der Förderstrom wird durch den Antrieb (16) dem geforderten Schallsignal entsprechend gesteuert und tritt über einen Schallkanal (11) aus; der komplementäre Kanal (11') wirkt auf ein abgeschlossenes Puffervolumen (15). Wie bei konventionellen Lautsprecherboxen hat das Puffervolumen (15) die Funktion, aus dem uneffektiven Zweipol von Schallkanal (11) und Kanal (11') einen akustischen Monopolstrahler zu machen. Bei Luftpumpen (12) mit hohen Druckverhältnissen wird das notwendige Puffervolumen entsprechend klein. Mittels eines mikromechanischen Durchflussmessers (18) wird der schallerzeugende Volumenstrom im Schallkanal (11) gemessen und kann nach einem Soll/Ist-Vergleich nachgeregelt werden. Schliesslich bewirkt eine Bohrung (19) mit großem Strömungswiderstand im Puffervolumen (15) einen Ausgleich von Luftdruckschwankungen und Driftfehlern.

WO 00/47012 A3